

## Çelik Çerçevelerde Sabit Düktilite İçin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı ve Öteleme Analizlerinin Karşılaştırılması

Bülent AKBAŞ\*  
Fatma İlknur KARA\*\*  
Ülgen MERT TUGSAL\*\*

### ÖZ

Genel depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerinden özellikle can güvenliği ve yapının göçmesi, deprem yönetmeliklerinde açık bir şekilde önlenmiştir. Yapılan son çalışmalar neticesinde, genel depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesinin gerçekleştirilmesi ve mevcut binaların sismik performanslarının değerlendirilmesi konularında deprem yönetmeliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Düşük performans seviyelerinde sismik taleplerin tahmin edilebilmesi için yapının doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınması gerekmektedir. Bu çalışmada 3-, 9-, ve 20-katlı çelik çerçevelerde doğrusal olmayan zaman artımı ve öteleme analizi sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmektedir. Bu çalışma sonucunda, yapılardaki hasarın öteleme analizi yardımıyla tahmin edilmesinin zor olduğu görülmüştür.

### ABSTRACT

#### Comparison of Nonlinear Time History and Pushover Analyses for a Given Ductility in Steel Moment Resisting Frames

Only the life safety and collapse prevention in general earthquake resistant design philosophy are explicitly prevented in seismic design codes. Results obtained from the recent studies have enabled some major changes in seismic design codes for the general EQ-RD philosophy to be accomplished and in evaluating the seismic performance of existing structures. Estimating the seismic demands at low performance levels requires the consideration of inelastic behavior of the structure. This paper is intended to compare nonlinear dynamic time history and pushover analyses results on 3-, 9-, and 20-story steel moment resisting frames. The results in this study show that prediction of damage in structures is hard to estimate by means of push-over analysis.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.06.2005 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2007 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Anabilim Dalı, Kocaeli – akbasb@gyte.edu.tr

\*\* Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Anabilim Dalı, Kocaeli

## 1.GİRİŞ

Depremler çok sık olmamaları nedeniyle çok özel bir tip doğal felakettir ve bir yapının ömrü boyunca şiddetli bir depremle karşılaşma olasılığı düşük olmasına rağmen ortaya çıkan can ve mal kaybı oldukça büyük olmaktadır. Tüm dünyada kabul edilen depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi şu üç kriterden oluşmaktadır;

1. Yapının ömrü boyunca karşılaşma olasılığı çok fazla olan hafif şiddetli depremlerde, yapısal olan ve olmayan hasar önlenmelidir
2. Yapının ömrü boyunca karşılaşma olasılığı çok sık olmayan orta şiddetli depremlerde, yapısal olan ve olmayan elemanlarda oluşacak hasar onarılabilir düzeyde olmalıdır.
3. Yapının ömrü boyunca karşılaşma olasılığı çok az olan şiddetli bir depremde can kaybı ve yapının göçmesi önlenmelidir.

Yukarıdaki bu üç kriterlik depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi on yıl öncesine kadar deprem yönetmeliklerinde sadece üçüncü madde ile kendini göstermekteydi, can güvenliği ve göçmenin önlenmesi; ilk iki madde ise imalı bir şekilde mimari kısıtlamalarla sağlanmaya çalışılmaktaydı. Son on yılda gerek ülkemizde gerekse dünyada meydana gelen depremlerdeki (Norridge, 1994; Kobe, 1995; İzmit, 1999) can ve mal kaybı deprem konusunda bilinmeyenlerin bilinenlerden daha fazla olduğunu göstermiştir. Elde edilen son veriler ışığında yapılan çalışmalar, yukarıda bahsedilen üç maddenin de yapı tasarımında uygulanabilmesi ve mevcut yapıların sismik performanslarının değerlendirilebilmesi amacı ile özellikle Amerika'da deprem yönetmeliklerinde önemli ölçüde değişiklikler meydana getirmiştir (IBC-2003, 2003; FEMA-356, 2000; ATC-55, 2005) [1],[2],[3].

Mevcut bir yapının, servis ömrü boyunca maruz kalabileceği farklı seviyelerdeki deprem hareketlerinde, performansının kabul edilebilirliği, performansa dayalı kapsamlı depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımının konusudur. Yapının istenilen performansı sağlayabilecek şekilde tasarlanabilmesi için en ideal yöntem, yapısal elemanlar için gerçekçi 3 boyutlu doğrusal ve doğrusal olmayan gerçekçi eleman modelleri oluşturmak ve bu modellerle oluşturulan yapısal sistemlerin (zemin, temel yapısı, üst yapı ve yapısal olmayan elemanlar) dinamik zaman-geçmişini analizlerini yapmaktır [4]. Şunu unutmamak gerekir ki çok serbestlik dereceli bir sistemin 3 boyutlu doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi sadece çok vakit almakla kalmayıp, yapılan bir çok kabulde belirsizlikler taşımaktadır (kullanılan modelin gerçekçiliği ve özellikle doğrusal olmayan bölgedeki davranışı, yer hareketinin özellikleri, vb.).

Günümüzde, deprem yönetmelikleri performans esaslı olmaya doğru hızla ilerlemektedirler (IBC-2003,2003; FEMA-356, 2000; ATC-55, 2005) [1],[2],[3]. Son çıkarılan deprem yönetmeliklerinde, yapıların sismik performanslarının belirlenmesi amacıyla dört değişik performans seviyesi önerilmektedir. Bu performans seviyeleri yüksek performans seviyesinden düşük performans seviyesine doğru sırasıyla; tümüyle işlevsel, işlevsel, can güvenliği ve göçmenin önlenmesi seviyeleridir. Düşük performans seviyelerinde (can güvenliği ve göçmesinin önlenmesi) sismik taleplerin tahmin edilebilmesi için yapının doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınması gerekmektedir.

Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi, yapıların sismik tasarımında ve değerlendirilmesinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Bu analizin genel amacı belirli bir sismik harekete maruz kalan yapının davranışını daha iyi anlamaktır [5]. Fakat,

doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi gibi karmaşık analizler şu anda pratik olarak mühendislik ofislerinde kullanılmak için çok uygun değildir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi sismik taleplerin tahmin edilebilmesi için en kesin çözümü vermesine rağmen, yönetmelikler (IBC-2003, 2003; FEMA-356, 2000; ATC-55, 2005) [1],[2],[3] yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda doğrusal olmayan statik yöntem (DOSY) veya diğer adıyla öteleme analizi (ÖA) yöntemini önermektedir. Öteleme analizi, yapıya gelen deprem etkilerini (yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları) tahmin etmek için yapıya monotonik artan yatay yükler etkilenen basit bir doğrusal olmayan statik analiz yöntemidir ve literatürde bu konuda sunulmuş değişik analiz yöntemleri mevcuttur [6],[7],[8]. Bu yöntemde sismik talepler, monotonik olarak yükseklik boyunca değişen yatay kuvvetlerin önceden belirlenen bir hedef yer değiştirmeye erişinceye kadar yapıya etki ettirilmesi ile bulunur. 'Yöntemin uygulanmasındaki iki anahtar adım olan yatay yük dağılımı ve hedef yer değiştirme, esas olarak yapının mukabelesinin hakim moddan meydana geldiği ve mod şeklinin yapı aktıktan sonra da değişmediği kabulüne dayanır [9]. Yaygın olarak kullanılan modern bilgisayar programları (SAP2000, ADINA, DRAIN2DX, vb.) yardımıyla da öteleme analizlerini gerçekleştirmek mümkündür. Yönetmeliklerde yatay yük dağılımı için yapılan kabulün yapı akmaya başladıktan sonra ne kadar gerçekçi olduğu ve öteleme analizi sonucu bulunan sonuçların zaman tanım alanı analizi ile bulunan sonuçları ne ölçüde temsil ettiği ise halen tam olarak cevaplanabilmiş değildir.

## **2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE İÇERİĞİ**

Alçak, orta ve yüksek-katlı çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan çelik moment çerçeveleri (ÇMÇ), yatay yüklerle karşı (deprem yükleri) en sık kullanılan taşıyıcı sistem olma özelliğini sürdürmektedir. Bu tip çerçevelerin deprem yüklerini güvenli biçimde aktarabilmek için yaygın biçimde kullanılmalarının en önemli sebebi oldukça sünek davranış göstermeleridir. ÇMÇ'nin deprem hareketlerine maruz kalması durumundaki doğrusal olmayan davranışı uzun yıllar deneysel olarak ve modern bilgisayar programlarıyla çalışılmıştır. Bunun sonucu olarak ÇMÇ'nin analizinde ve tasarımında davranış ve kiriş-kolon birleşimleriyle ilgili oldukça basit ve gerçekçi kabuller yapılabilmektedir.

17 Ocak 1994 Northridge (Amerika) depremi çelik moment çerçevelerde birçok problemi de gün ışığına çıkarmıştır. Bu deprem sonucunda deprem davranışlarının çok iyi bilindiği tahmin edilen çelik binalarda, daha önceden tahmin edilemeyen birçok hasar tipi ortaya çıkmıştır. 100'den fazla binada kiriş başlıklarıyla kolon başlıklarını birleştiren kaynak dikişlerinin içinde ve çevresinde kırılmalar ve çatlaklar tespit edilmiştir [10]. Bu hasarlar, binaların göçmesine yol açmamasına rağmen, çelik moment çerçeveli binaların deprem güvenliği konusunda tartışmalara yol açmış ve bu yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesi için çalışmalara başlanmıştır.

Bu çalışmanın esas amacı; düşük, orta, ve şiddetli deprem hareketlerine maruz çelik moment çerçevelerin düşük performans seviyelerinde göstereceği doğrusal olmayan sismik davranışlarının incelenerek bunun öteleme analiziyle tahmin edilebilirliğini araştırmaktır. Bu amaçla üç adet ÇMÇ seçilmiş ve bu çerçevelerde doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanı ve öteleme analizleri uygulanmıştır.

### **3.BİNALARIN TANIMI**

Bu çalışmada kullanılan 3-, 9- ve 20- katlı binalar SAC Projesi'nden [11] uyarlanmıştır ve düşey yükler, rüzgar ve deprem yüklerine göre tasarlanmıştır. Gerçekte inşa edilmemiş olan bu yapılar, Los Angeles, ABD bölgesine ait zemin şartlarını sağlamakta ve alçak, orta ve yüksek katlı tipik yapıları temsil etmektedir. Tüm yapılar için taşıyıcı sistem moment aktaran dış çerçevelerden ve sadece düşey yük taşıyan iç çerçevelerden oluşmaktadır. Yatay yükler dış çerçevelerle taşınmakta, iç çerçevelerin deprem yüklerini karşılamakta katkısı bulunmamaktadır. Yapı düzlemleri simetriktir. 3 katlı yapı planda 36,60mx54,90m olup, K-G doğrultusunda 3, D-B doğrultusunda 6 adet 9,15m'lik açıklıklara sahiptir (Şekil 1a). Kat yükseklikleri kiriş merkezinden kiriş merkezine 3,96m'dir. Kolonlar temele ankastre bağlıdır. 9 katlı yapı planda 45,75mx45,75m olup, K-G ve D-B doğrultularında sırasıyla 4 ve 5 adet 9,15m'lik açıklıklara sahiptir (Şekil 1b). Yapının tek bodrum katı olup (B1), bodrum kat yüksekliği 3,65m, zemin kat yüksekliği 5,96m ve diğer tüm kat yükseklikleri 3,96m'dir. 20 katlı yapı planda 45,75mx54,90m olup, K-G doğrultusunda 5, D-B doğrultusunda 6 adet 6,10m'lik açıklıklara sahiptir (Şekil 1c). İki bodrum katı olan binanın (B-1,B-2), bodrum kat yükseklikleri 3,65m, zemin kat yüksekliği 5,96m ve diğer tüm kat yükseklikleri 3,96m'dir. 9 ve 20 katlı yapılar B-1 ve B-2 seviyelerinden zemine oturtulmuşlardır. 9 ve 20 katlı yapılarda bodrum katlar toprak altında ve betonarme perde duvar ile çevrili olduklarından yapının zemin katında yatay yer değiştirmesinin önleniği kabul edilmiştir [11].

Yapılardaki tüm kolonların akma dayanımları  $F_y=345\text{Mpa}$  olarak belirtilmiştir. Kolonlar ve kirişler geniş başlıklı (W) profil olup, eleman boyutları 3-, 9- ve 20- katlı yapılar için sırasıyla Şekil 1a, 1b ve 1c'de verilmiştir. Yapıların kat sistemi kompozit olarak tasarlanmış olup, dökme ile birlikte kompozit olarak çalışan  $F_y=248\text{Mpa}$  akma dayanımına sahip kirişlerden oluşmaktadır [11].

Yapıların kat sistemlerinin diyafram etkisi gösterdiği ve yatay düzlemde rijit olduğu kabul edilmiştir. Tüm yapılarda her kat seviyesinde oluşan atalet etkilerinin moment çerçeveleri tarafından karşılandığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla moment çerçeveleri her doğrultuda yapının sismik kütlelerinin yarısını taşımaktadır. Bu sismik kütleler 3-, 9- ve 20- katlı yapı için sırasıyla 2950t, 9000t ve 11100t olarak verilmiştir. 3-, 9- ve 20- katlı binaların iki boyutlu modelleri doğrusal olmayan dinamik analiz programı DRAIN-2DX [12] kullanılarak oluşturulmuştur. Analizlerde kiriş-kolon elemanları kullanılmıştır. Doğrusal olmayan etkiler eleman uç noktalarındaki plastik mafsallarda göz önüne alınmıştır. Kolon elemanlarının akma yüzeyleri olarak, AISC-LRFD(1999) [13] tarafından önerilen eksenel yük-moment etkileşim ilişkileri kullanılmıştır. Analizlerde panel bölgesi etkileri ihmal edilmiş ve 9- ve 20- katlı yapılar için P-Δ etkileri göz önüne alınmıştır. 3-, 9- ve 20- katlı çerçevelerin birinci titreşim periyotları sırasıyla 0,996sn, 2,099sn ve 3,786sn olarak bulunmuştur.



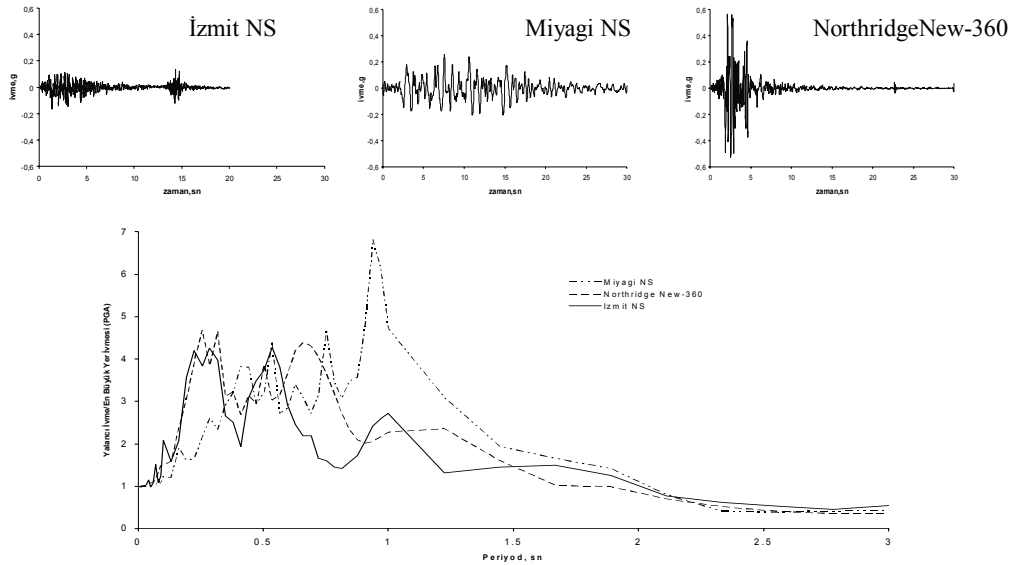
### Çelik Çerçevelerde Sabit Düktilite İçin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı...

üç çerçeveye de uygulanmıştır. Öteleme analizlerinde ise çerçeve yüksekliği boyunca IBC-2003 (2003)'de [1] önerilen parabolik dağılım ve dikdörtgen dağılım her üç çerçeveye de uygulanmıştır.

Öteleme analizi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinden elde edilen sonuçlar, maksimum taban kesme kuvveti ( $V$ ) / bina ağırlığı ( $W$ ) - çatı yerdeğiştirmesi ( $u$ ) grafikleri şeklinde 3-, 9-, ve 20-katlı çerçeveler için sırasıyla Şekil 3,4 ve 5'de sunulmuştur. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinden elde edilen sonuçlar nokta sembollerle gösterilmiş olup sırasıyla  $\mu=2,4,6,8,10$  için elde edilen sonuçları göstermektedir.

Tablo 1. Depremlerin Özellikleri

Adı	Yeri	Tarih	$M_L$	Odak Der. (km)	MrkzÜst. Mes. (km)	PGA (g)	$T_g$ (sn)	$t_D$ (sn)	Zemin
İzmit NS	İzmit Meteoroloji İstasyonu	17/08/1999	7.2	18	10	0.171	1	34.08	Sert Kil
Miyagi NS	Miyagi	12/06/1978	7.4	30	100	0.2636	0.95	17.75	Alüvyon
Northridge New-360	California	17/01/1994	6.4	19	19.2	0.5963	0.68	5.50	Organik Kaya



Şekil 2. Normalleştirilmiş Mukabele Spektrumları ve İvme Zaman Grafikleri

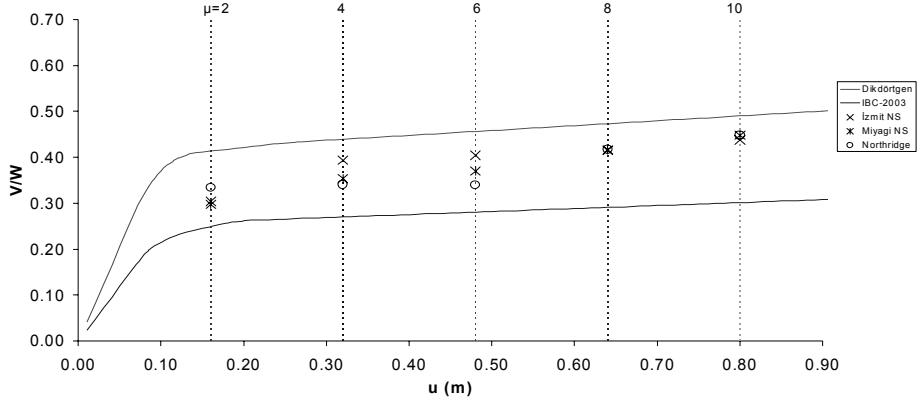
Şekillerden de görüldüğü gibi  $V/W-u$  eğrileri deprem hareketleri için doğrusal olmayan bölgede üniform bir dağılımdan çok dalgalı bir dağılıma sahiptirler. Bu dalgalanmalar deprem yer hareketlerinin artan şiddetlerinde yapıların göçme modlarındaki değişime ve doğrusal olmayan bölgede kesme kuvvetlerinin dağılımına bağlıdır. Ayrıca gözlenmiştir ki; 3-katlı çerçeve için dikdörtgen dağılım, doğrusal olmayan bölgede doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri için daha güvenli sonuç vermektedir (Şekil 3). 9- ve özellikle 20-katlı çerçevelerde ise ne IBC-2003 (2003) [1] ne de dikdörtgen dağılım, doğrusal olmayan bölgedeki sismik davranışı, yüksek modların katkısından dolayı iyi temsil edememektedir. 3-katlı çerçevede tüm deprem hareketleri birbirine yakın sismik taleplerde bulunurken, 9- ve 20-katlı çerçevelerde özellikle Miyagi NS ve Northridge deprem hareketleri artan  $\mu$  için öteleme analizi sonuçlarının çok üzerinde sismik talep doğurmuştur (Şekil 4 ve 5).

Doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanı analizlerinden elde edilen  $\mu=4$  ve 8 için plastik mafsallı dönmesi değişimleri, 3-katlı yapı için Şekil 6,7 ve 8; 9-katlı yapı için Şekil 9,10 ve 11; 20-katlı yapı için Şekil 12,13 ve 14'de verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi artan  $\mu$  'ye bağlı olarak (ki bu aynı zamanda depremin şiddetinin de artması demek), plastik mafsallı dönmesi değeri de artmaktadır. Her üç çerçevede de plastik mafsallar büyük çoğunlukla kirişlerde oluşmuş kolonlar genel olarak elastik davranış göstermişlerdir. Plastik mafsallı dönmesi, 3-katlı çerçeve için tüm katlarda yaklaşık aynı değeri alırken (Şekil 6, 7, 8), 9- ve 20-katlı çerçevelerde alt katlardan üst katlara doğru beklenildiği şekilde giderek azalan bir değişim göstermiştir (Şekil 9, 10, 11, 12, 13,14).

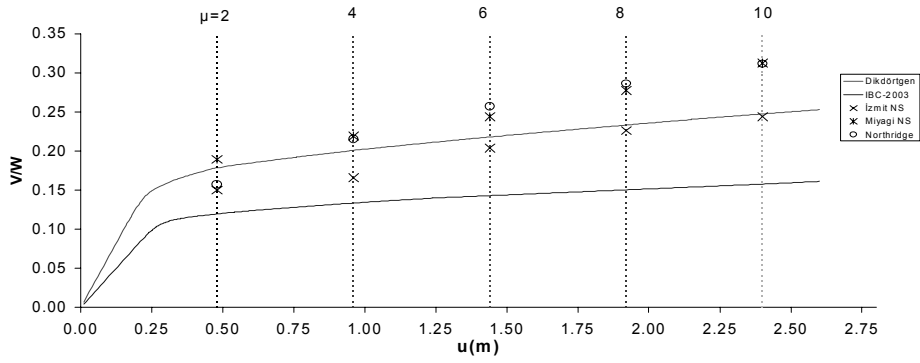
Deprem hareketi elemanlarda tersinir (çevrimsel) yüklemelere sebep olduğundan deprem hareketinin başından sonuna kadar  $+$  /  $-$  yöndeki doğrusal olmayan plastik mafsallı dönmesinin toplamını ifade eden birikimli plastik mafsallı dönmesi değerleri de oldukça önemlidir. Birikimli plastik mafsallı dönmesi değişimleri 3-katlı çerçeve için Şekil 15,16 ve 17; 9-katlı yapı için Şekil 18,19 ve 20; 20-katlı yapı için Şekil 21,22 ve 23'de verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi birikimli plastik mafsallı dönmeleri kiriş elemanlarının her iki ucunda da yaklaşık eşit miktarlarda oluşmaktadır. 3-katlı çerçeve için birikimli plastik mafsallı dönmeleri, tüm katlarda yaklaşık eşit bir dağılım göstermiştir ve 0.05'den büyük değerler almıştır (Şekil 15, 16, 17). 9- ve 20-katlı çerçevelerde deprem hareketinin özelliklerinin birikimli plastik mafsallı dönmesi üzerinde önemli rol oynamıştır (Şekil 18, 19, 20, 21, 22, 23).

Yer hareketi sırasında yapısal elemanlarda oluşacak birikimli plastik mafsallı dönmesi taleplerinin öteleme analizi yardımıyla tahmin edilebilirliği için, dikdörtgen ve IBC-2003 (2003) [1] yatay yük dağılımlarına göre uygulanan öteleme analizleri sonucunda  $\mu = 2, 4, 6, 8, 10$  için bulunan plastik mafsallı dönmesi değerleri çizilmiştir. Karşılaştırmada, doğrusal olmayan analizlerden elde edilen sonuçlarda plastik mafsallı dönmeleri yerine birikimli plastik mafsallı dönmesi kullanılmasının sebebi, öteleme analizinden elde edilen plastik mafsallı dönmesi değerlerinin tek yönlü olmasından dolayı doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerindeki birikimli plastik mafsallı dönmesi değerlerine bir anlamda karşılık gelmesidir. Sonuçlar 3-katlı çerçeve için Şekil 24 ve 25; 9-katlı çerçeve için Şekil 26 ve 27; 20-katlı çerçeve için Şekil 28 ve 29'da verilmiştir. 3-katlı çerçeve için, öteleme analizinden  $\mu=10$  için elde edilen plastik mafsallı dönmesi değerlerine (Şekil 24 ve 25)

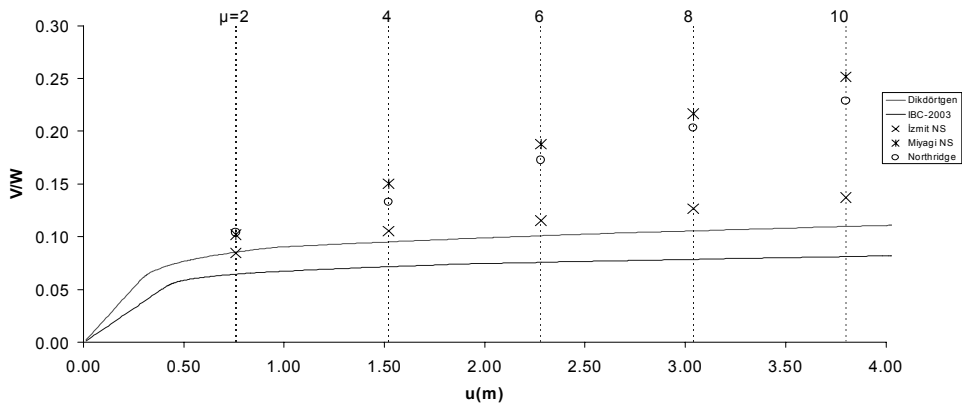
*Çelik Çerçevelerde Sabit Düktilite İçin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı...*



*Şekil 3. 3 Katlı Çerçevenin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı ve Öteleme Analizi Sonuçları*



*Şekil 4. 9 Katlı Çerçevenin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Ve Öteleme Analizi Sonuçları*



*Şekil 5. 20 Katlı Çerçevenin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Ve Öteleme Analizi Sonuçları*



doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanı analizlerinde  $\mu = 4$  için ulaşılmıştır (Şekil 15, 16, 17). 9-katlı çerçevede dikdörtgen dağılıma göre  $\mu = 10$  için plastik mafsalsal dönmesi değerleri alt ve orta katlarda 0.04'ün altında kalırken, IBC-2003 (2003)'e [1] göre tüm katlarda neredeyse 0.04'e ulaşılmıştır (Şekil 26, 27). Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinde  $\mu = 8$  için hemen hemen tüm katlarda 0.05'in altında değerler elde edilmiştir (Şekil 18, 19, 20). 20-katlı çerçevede gerek dikdörtgen gerekse IBC-2003 (2003)'e [1] göre dağılım  $\mu = 10$  için 0.05'den büyük plastik mafsalsal dönmesi değerlerine sadece alt ve orta katlarda ulaşırken üst katlarda herhangi bir mafsalsal oluşmamıştır (Şekil 28, 29). Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinde  $\mu = 4$  ve 8 için 0.05 ve daha büyük değerler almıştır ve birikimli plastik mafsalsal dönmeleri tüm çerçevede tüm katlarda oluşmuştur (Şekil 21, 22, 23).

Son olarak, Şekil 30'da deprem hareketlerinin sabit düktilite ( $\mu$ ) için ölçeklendiği yer ivmesi değerleri (g) verilmiştir. Şekil'den de görüleceği gibi yüksek düktilite değerleri için deprem hareketlerinin en büyük yer ivmeleri 1.0g'nin üzerine ölçeklenmiştir ki bu şu ana kadar kaydedilmiş en büyük deprem hareketinin yer ivmesinden daha büyüktür.

## **5. SONUÇLAR**

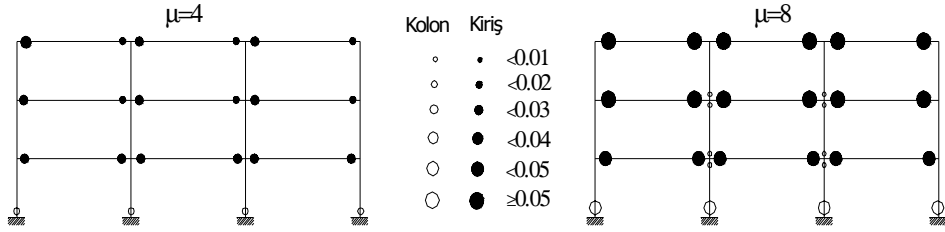
Bu çalışmada, çelik çerçevelerde sabit düktilite için doğrusal olmayan zaman tanım alanı ve öteleme analizlerinde elde edilen plastik mafsalsal dönmesi değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Öteleme analizleri, global yapı davranışını tahmin etmekte (taban kesme kuvveti, çatı yer değiştirmesi) çok fazla kullanılmasına rağmen yapı içinde şiddetli bir deprem hareketinden dolayı oluşacak hasar dağılımını tahmin etmede kullanılmamalıdır.
- Öteleme analizleri, orta ve yüksek katlı yapılarda alt ve orta katlarda hasara (plastik mafsalsal dönmeleri) yol açarken, orta ve şiddetli deprem hareketleri tüm yapıda hasara yol açabilmektedir.
- Eğer tasarımda güçlü kolon – zayıf kiriş prensibi burada olduğu gibi tam olarak uygulanırsa yapılar en şiddetli depremler karşısında bile istenilen davranışı gösterebilirler.
- Yapısal bir elemandaki enerji talebi elemanın her ucu tarafından yaklaşık eşit olarak dağıtılmaktadır. Bir anlamda sezgisel olan bu gözlem önem taşımaktadır. Eğer her eleman üzerindeki enerji talebi tahmin edilebilirse, bu enerjinin elemanın her ucu tarafından eşit olarak dağıtılacağı bilindiğinden, bir elemanı tasarlarken onun enerji dağıtma kapasitesi baz alınabilir.

Çelik Çerçevelerde Sabit Düktilite İçin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı...



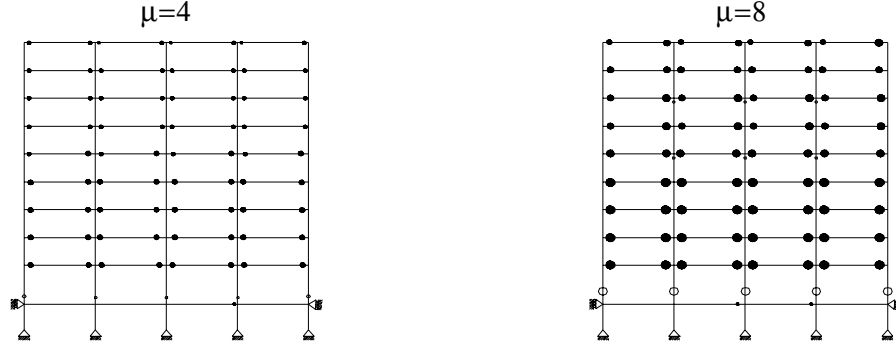
Şekil 6. 3 Katlı Çerçevede İzmit N-S Depremi Plastik Mafsal Dönme Değerleri



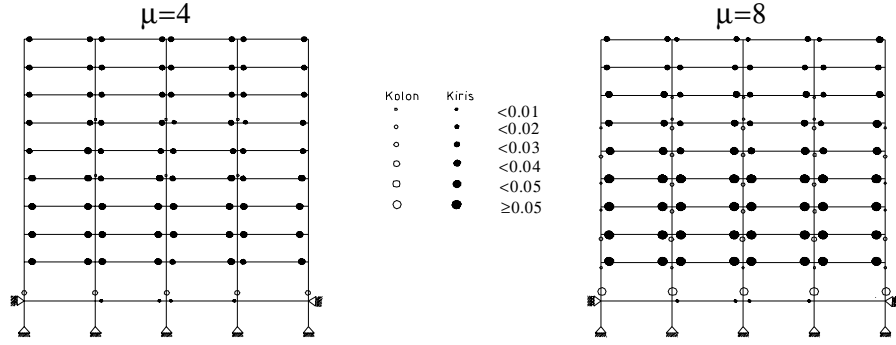
Şekil 7. 3 Katlı Çerçevede Miyagi N-S Depremi Plastik Mafsal Dönme Değerleri



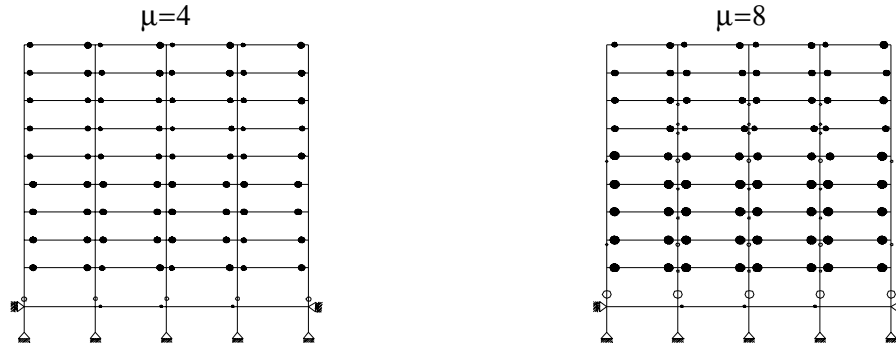
Şekil 8. 3 Katlı Çerçevede Northridge Depremi Plastik Mafsal Dönme Değerleri



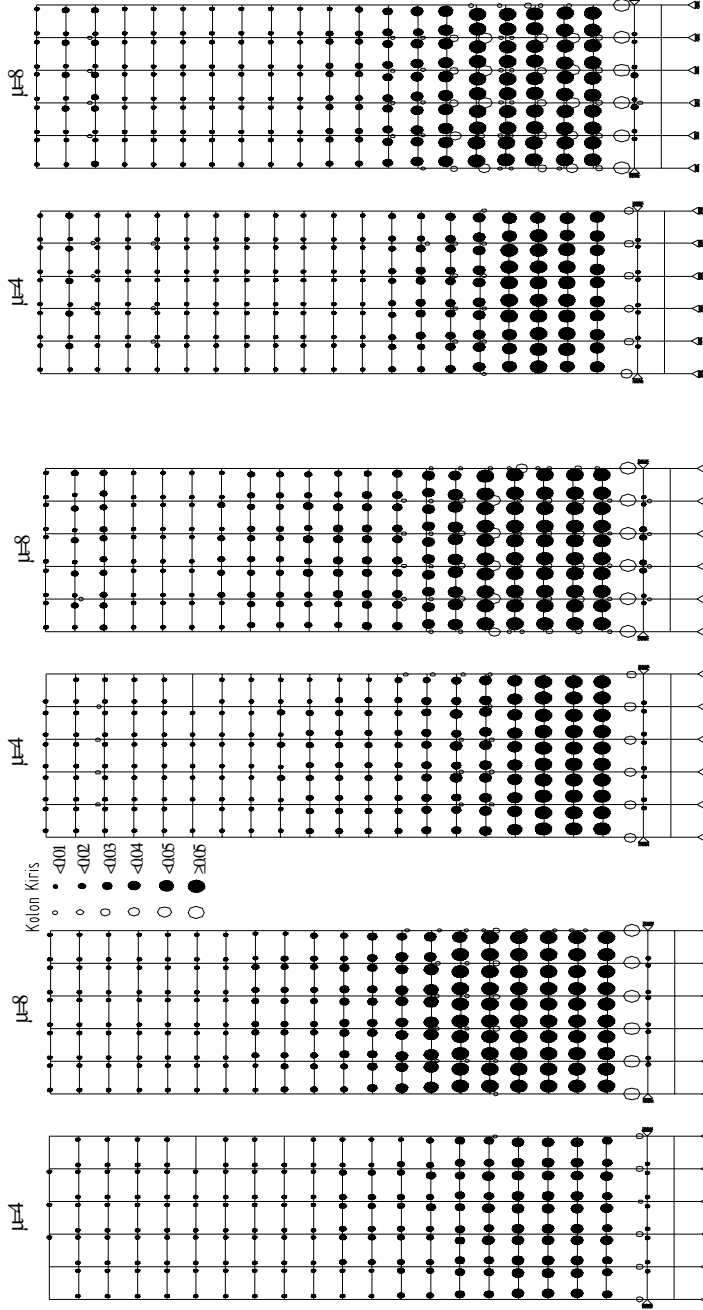
Şekil 9. 9 Katlı Çerçeve İ Izmit N-S Depremi Plastik Mafsal Dönme Değerleri



Şekil 10. 9 Katlı Çerçeve Miyagi N-S Depremi Plastik Mafsal Dönme Değerleri



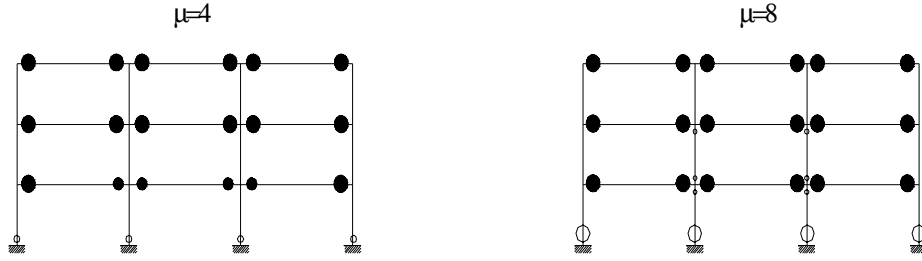
Şekil 11. 9 Katlı Çerçeve Northridge Depremi Plastik Mafsal Dönme Değerleri



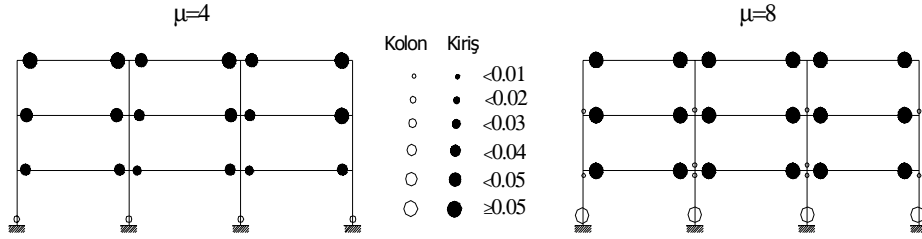
Şekil 14. 20 Katlı Çerçevede  
Northridge Depremi  
Plastik Mağsal Dönme Değerleri

Şekil 13. 20 Katlı Çerçevede  
Miyagi NS Depremi  
Plastik Mağsal Dönme Değerleri

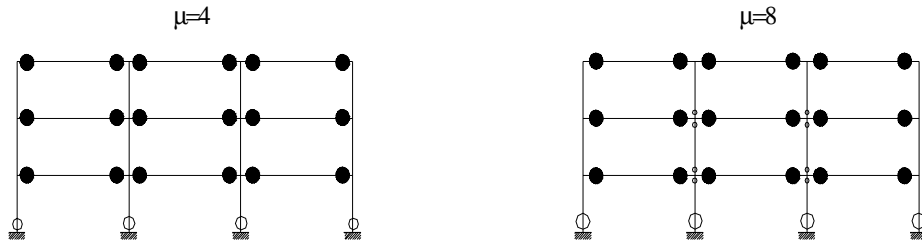
Şekil 12. 20 Katlı Çerçevede  
İzmit N-S Depremi  
Plastik Mağsal Dönme Değerleri



Şekil 15. 3 Katlı Çerçeve İzmit N-S Depremi Birikimli Plastik Mafsal Dönme Değerleri

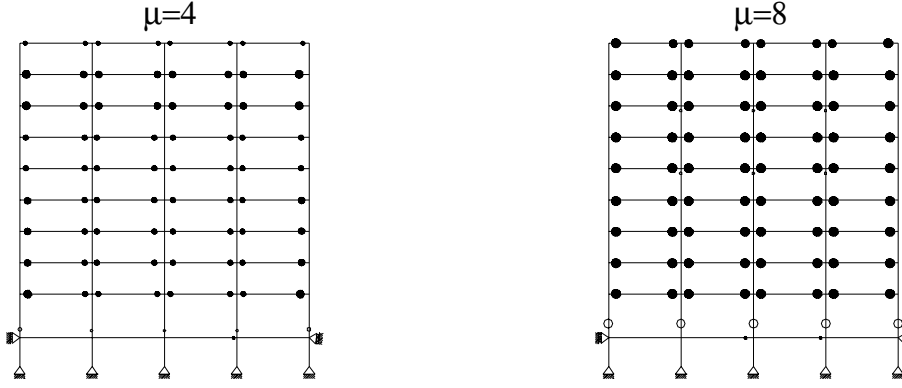


Şekil 16. 3 Katlı Çerçeve Miyagi N-S Depremi Birikimli Plastik Mafsal Dönme Değerleri

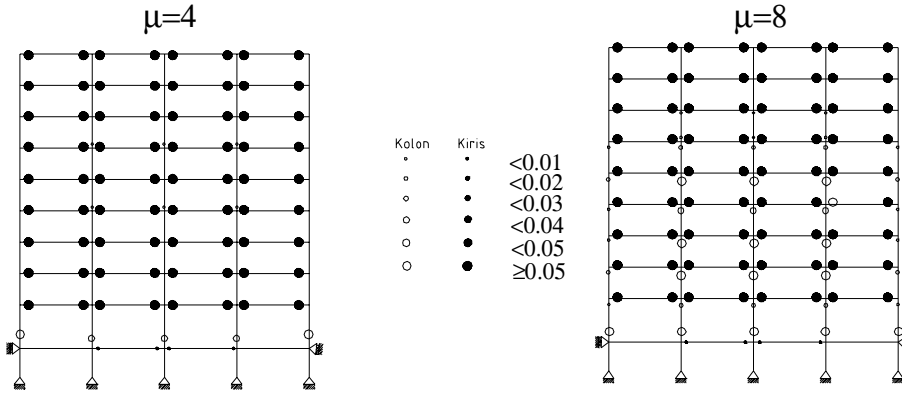


Şekil 17. 3 Katlı Çerçeve Northridge Depremi Birikimli Plastik Mafsal Dönme Değerleri

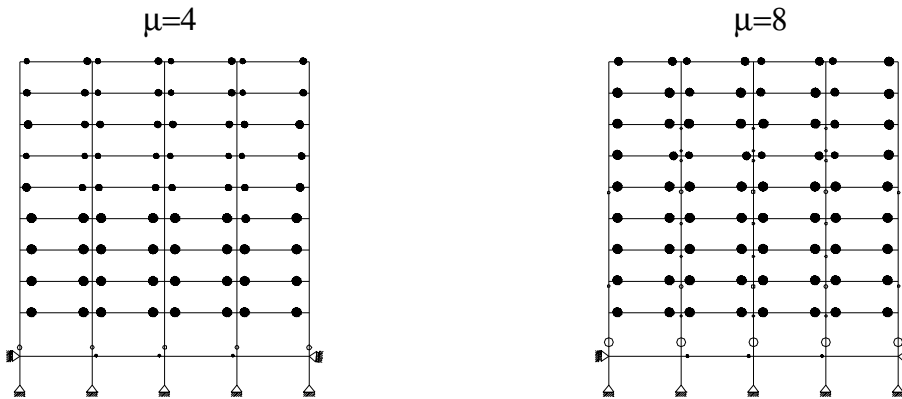
Çelik Çerçevelerde Sabit Düktilite İçin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı...



Şekil 18. 9 Katlı Çerçeve İZMIT N-S Depremi Birikimli Plastik Mafsal Dönme Değerleri

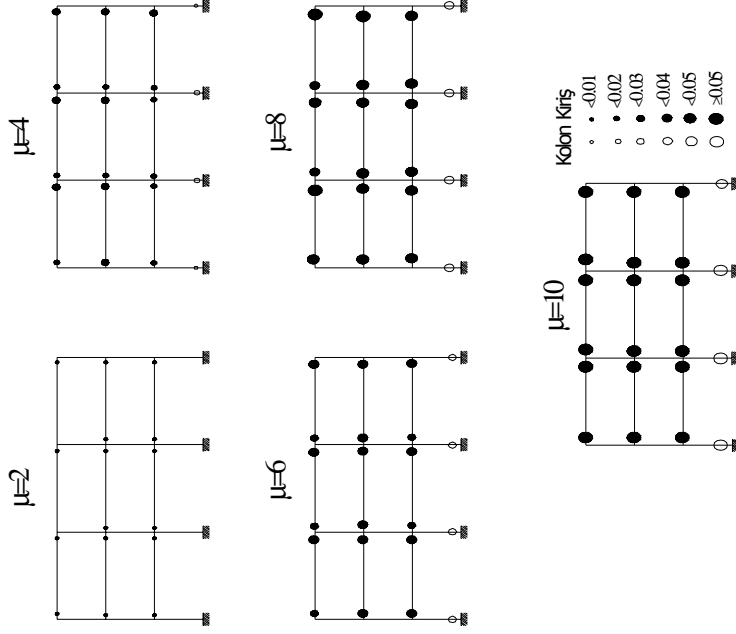


Şekil 19. 9 Katlı Çerçeve MIYAGI N-S Depremi Birikimli Plastik Mafsal Dönme Değerleri

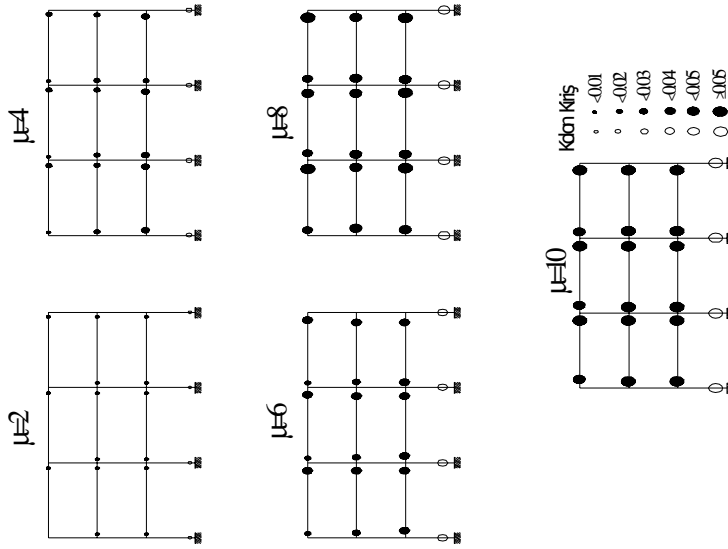


Şekil 20. 9 Katlı Çerçeve NORTHRIDGE Depremi Birikimli Plastik Mafsal Dönme Değerleri



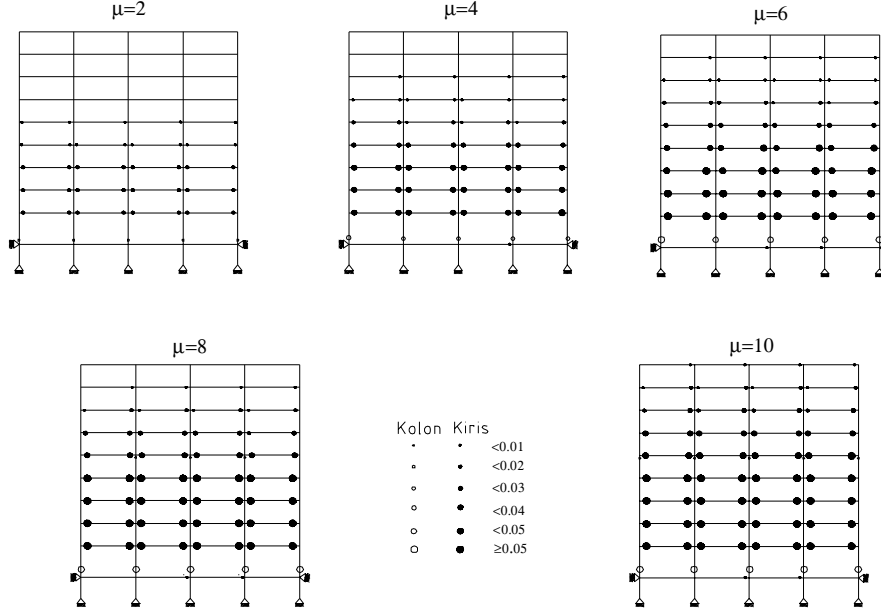


Şekil 25. 3 Katlı Çerçevede  $\mu=2, 4, 6, 8, 10$  için Parabolik dağılıma (IBC-2003) göre Plastik Mafsalsal Dönme Değerleri

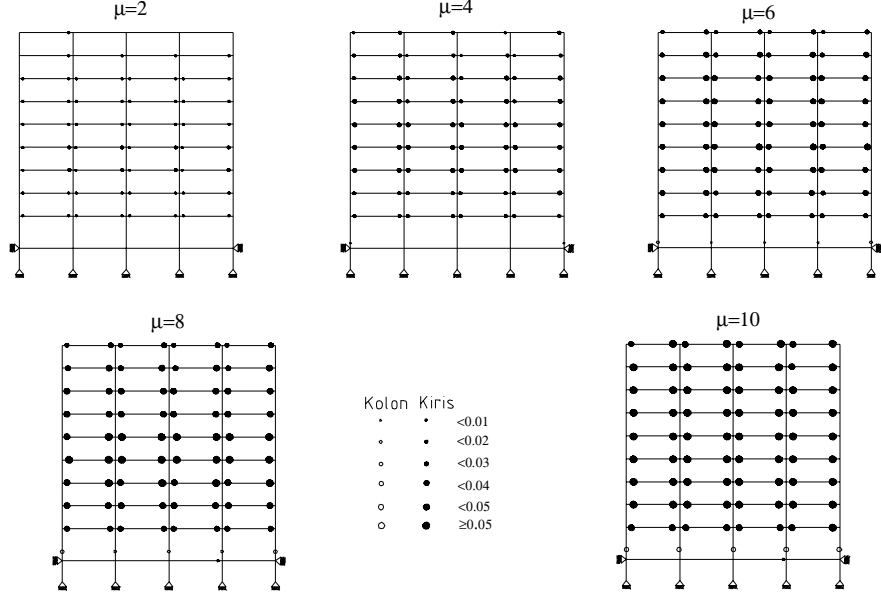


Şekil 24. 3 Katlı Çerçevede  $\mu=2, 4, 6, 8, 10$  için Dikdörtgen Dağılıma göre Plastik Mafsalsal Dönme Değerleri

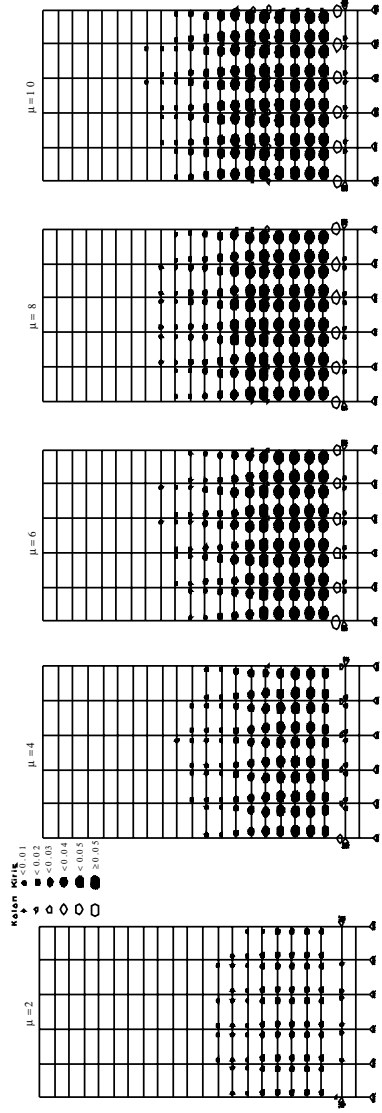




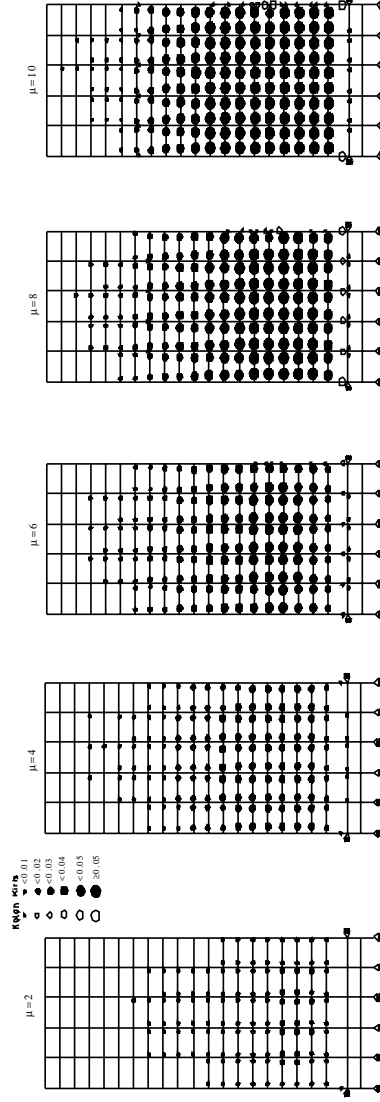
Şekil 26. 9 Katlı Çerçeve için  $\mu=2,4,6,8,10$  için Dikdörtgen Dağılıma göre Plastik Mafsalsal Dönme Değerleri



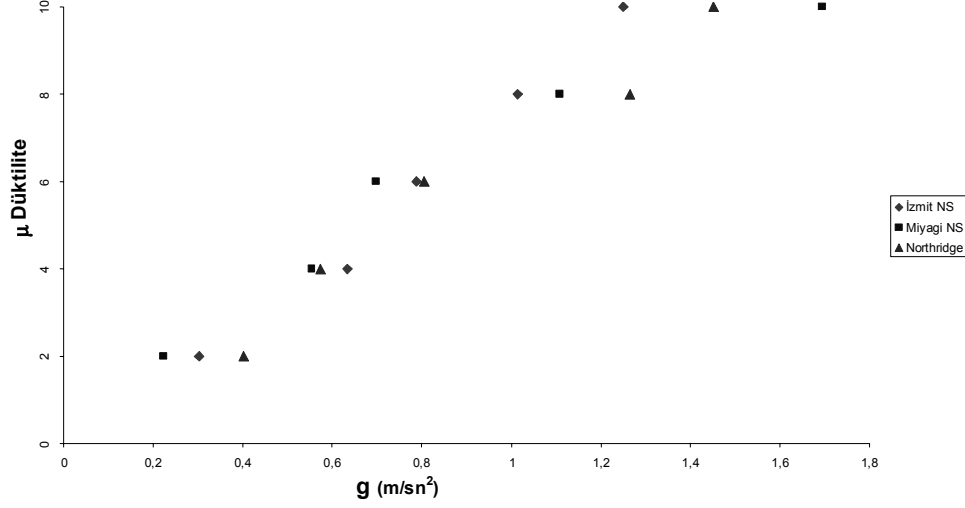
Şekil 27. 9 Katlı Çerçeve için  $\mu=2,4,6,8,10$  için Parabolik Dağılıma (IBC-2003) göre Plastik Mafsalsal Dönme Değerleri



Şekil 28. 20 Katlı Çerçevede  $\mu=2, 4, 6, 8, 10$  için Dikdörtgen Dağılıma göre Plastik Mafsalsal Dönme Değerleri



Şekil 29. 20 Katlı Çerçevede  $\mu=2, 4, 6, 8, 10$  için Parabolik Dağılıma (IBC-2003) göre Plastik Mafsalsal Dönme Değerleri



Şekil 30. Deprem Hareketlerinin Sabit Düktilite İçin Ölçeklendiği Yer İvmesi Değerleri

## 6. SEMBOLLER

g : Yer İvmesi

t<sub>0</sub>: Etkin Yer Hareketi Süresi

T<sub>g</sub>: Etkin Yer Hareketi Periyodu

u : Çatı Yerdeğiştirmesi

u<sub>y</sub> : Akma Yerdeğiştirmesi

V : Taban Kesme Kuvveti

W : Bina Ağırlığı

μ : Süneklik

η : Mukavemet İndisi

## Kaynaklar

- [1] IBC 2003, International Building Code, International Code Council, Falls Church, Virginia.
- [2] FEMA 356,2000, Prestandart And Commentary For The Seismic Evaluation Of Buildings, Prepared By The American Society Of Civil Engineers For The Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

*Çelik Çerçevelerde Sabit Düktilite İçin Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı...*

- [3] ATC 55 Project, FEMA 440, Improvement Of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedure, Prepared By Applied Technology Council For The Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [4] Bertero, V.V., and Teran-Gilmore, A., Use of Energy Concepts in Earthquake-Resistant Analysis and Design: Issues and Future Directions, Advances in Earthquake Engineering Practice: Series 2, University of California, Berkeley, 1994.
- [5] Li, R. and Pourzani, M., Sensitivity Of Buildings Response To Nonlinear Analysis Models, The Structural Design of Tall Buildings, 8, 15-35, 1999.
- [6] Saaidi, M. and Sözen, M.A., Simple Nonlinear Seismic Analysis of RC Structures, Journal of Structural Division, ASCE, 107, 937-952, 1981.
- [7] Qi, X. And Moehle, J.P., Displacement Design Approach for Reinforced Concrete Structures Subjected to Earthquakes, Report No. UCB/EERC-91/02, University of California, Berkeley, 1991.
- [8] Fajfar, P. And Gasperic, P., The N2 Method for the Seismic Damage Analysis of RC Buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 31-46, 1996.
- [9] Chopra, A. and Goel, R.K., A Modal Pushover Analysis Procedure For Estimating Seismic Demands For Buildings, Earthquake Engineering. and Structural Dynamics, 31,561-582, 2002.
- [10] Krawinkler, H. And Al-Ali, A., Seismic Demand Evaluation for a 4-Story Steel Frame Structure Damaged in the Northridge Earthquake, The Structural Design of Tall Buildings, 5, 1-27, 1996.
- [11] Ohtori, Y., Christensen R.E., Spencer, B.F. and Dyke S.J., Benchmark Control Problems for Seismically Excited Nonlinear Buildings, <http://www.nd.edu/~quake/>, Notre Dame University, Indiana, 2000.
- [12] Prakash, V., Powell, G.H., and Campbell, S. DRAIN-2DX User Guide V.1.10, Department of Civil Engineering, University of California at Berkeley. (1993).
- [13] AISC- LRFD,1999, Load And Resistance Factor Design. American Institute Of Steel Construction, Chicago.